第48卷 第2期
2025年2月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 48 No. 2
Feb. 2025

甘肃省冷凉区宜农空间识别与开发

胡舒云[1,2]， 陆玉麒[1,2,3,4]

（1. 南京师范大学地理科学学院，江苏 南京 210023；2. 南京师范大学乡村振兴研究院，江苏 南京 210023；
3. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室，江苏 南京 210023；4. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心，江苏 南京 210023）

摘 要： 冷凉气候是支撑西北山区农业转型和培育特色经济的重要资源，冷凉区农业综合开发能够有效促进甘肃省发挥区位比较优势，推进农业高质量发展。在论述大食物观背景下冷凉型农业资源的战略意义基础上构建甘肃省冷凉区开发理论框架，根据自然指标叠置分析识别省内冷凉气候的优势区域空间指向，采用*K*-means聚类方法，对甘肃省冷凉区范围内169249个1 km精度的格网进行农业功能类型分区。结果表明：(1) 甘肃省冷凉区面积约1.69×10^5 km^2，约占全省土地面积41.97%，分布在12市(自治州)、68县(区)、1034乡(镇)，其冷凉型农业以畜牧业和种植业为主，特色林业面积较小。(2) 冷凉区可划分为7种农业发展类型，分别为北山荒漠高寒牧业区、祁连山地旱寒牧业区、黄土高原旱凉牧业区、甘南高原湿冷牧业区、河西走廊温凉耕作区、陇中山地温凉农牧区、陇南山地湿冷农林牧区，其中牧业4类，种植业1类，农牧混合型2类。(3) 根据1 km格网单元统计，冷凉型牧业、种植业、混合型农业分别占比56.22%、16.30%和27.49%；而在行政单元尺度，可发展三大类农业类型的占比较为平均，均为30%左右的乡镇和区县数量。

关 键 词： 冷凉区；冷凉型农业；农业类型；大食物观；甘肃省
文章编号： 1000－6060(2025)02－0257－14(0257～0270)

“洪范八政，食为政首”，粮食安全是国之大者。在国际粮食贸易异动、国内生态资源紧缺的大背景下，我国本土农业市场长期存在基本口粮过剩与品质型农产品短缺的结构性问题[1]。近年来，习近平总书记不断强调以大食物观为指引，助推新时期农业高质量发展[2]，这一方面需要提高保障能力，实现食物供给种类的多样化，另一方面需要突破资源约束，实现食物供给来源的多元化[3]。如何立足中国本土资源禀赋挖掘多元食物生产潜力，保障新时期大食物观下粮食安全与农业高质量发展，是值得关注的议题[4-5]。

经济发展史上有这样一种价值判断：农业文明时期，平原地区的肥沃土壤是生产首选；工业文明阶段，沿江和沿海地区的地理优势逐渐显现；而进入生态文明新纪元，山地所独具的珍贵价值日益显现[6-7]。山谷纵横决定了气候的多变，环境多样带来了资源的多元，山地冷凉的低温环境使得农作物蛋白质、可溶性糖等干物质积累更加充分，加之植物根系发达，辛香类、生物碱类物质、矿物质等含量更高，农畜作物的营养价值远远高于平原地区[8-9]。因此，冷凉山区林草地的“粮库”潜力巨大，其可持续开发利用能够为有效实现农产品提质增效提供保障，是推进山地特色农业高质量发展的新方向[10-11]。

目前，围绕“冷凉区”展开的相关名词可分为冷凉气候、冷凉生态和冷凉经济三大类[8-14]。由于受传统农业生产观念影响，高海拔与高纬度所带来的低温冻害、热量不足、灾害性天气频繁一直被视为农业开发的限制因素，因此目前仍多针对平原农区

收稿日期： 2024-04-16； **修订日期：** 2024-05-22
基金项目： 国家自然科学基金项目(42171171，42171173)资助
作者简介： 胡舒云(1997-)，女，博士研究生，主要从事农业地理与三农问题等方面的研究. E-mail: 15824981420@163.com
通讯作者： 陆玉麒(1963-)，男，教授，主要从事空间结构与区域发展等方面的研究. E-mail: luyuqi@263.net

开展粮食增产途径与潜力研究[15-16]，鲜有立足广大山区非耕地（林、草地）探索食物生产新方式[17-18]。缺乏对冷凉资源关键样区进行基于自然禀赋的农业开发类型与方向研判，在如何立足中国本土挖掘山地农业之纵深，扬长避短破解山区发展瓶颈方面，缺乏有益探索的实践和经验[10]。甘肃省作为西北重地，承担着我国粮食安全、生态安全及边防安全的重要使命，其山地特色农业探索之于全国极为宝贵。

综上，本文按照理论分析-冷凉区界定-农业功能类型分区的逻辑主线，首先论述大食物观背景下中国农业高质量发展的转向逻辑，在研判甘肃省农业发展现状及问题的基础上，从理论上回答了冷凉型农业为什么需要发展的问题；其次，通过8个自然指标叠置分析识别冷凉区空间范围，采用*K*-means聚类对169249个1 km尺度的格网单元进行农业类型分区，在更精细尺度下明确区域专业化发展方向。以期谋划基于地方冷凉资源特色的乡村振兴路径，使农业生产结构调整逐步契合于保障大食物安全的需要，促进农业增效，农民增收与农村发展。

1 理论分析

1.1 大食物观视角下农业高质量发展的转向逻辑

20世纪50年代，在“以粮为纲”的农业生产基本方针引领下，我国以保障主粮安全作为首要目标，农业生产不断创收[19]。在“吃饱饭”问题解决后，习近平总书记提出大粮食观，突破了“以粮为纲”的传统束缚，要求逐渐改变食物结构的“主”“副”占比，改善人民食物结构。中共十八大以来，粮食安全在保障数量的基础上开始重视食物在数量、质量、营养上的共同安全[20]。2016年中央一号文件首次写入“树立大食物观”，2023年“树立大食物观”被纳入“粮食和重要农产品稳产保供”章节，要求注重肉、蛋、奶的摄入量，着力于改善人民食物营养结构[21]。

纵观不同农业发展阶段的政策导向，我国农业生产出现了从传统的“以粮为纲”到“大粮食观”再到“大食物观”的观念转变；农业生产观念由初始的数量安全不断拓展为质量安全和营养安全，从仅重视主粮安全不断向关注食物结构和营养安全转变[22]；农业发展目标不断由保障粮食增产和自给率的生产导向，转变为同时关注食物数量和质量的需求导向，并最终向保障食物安全与提升国人健康的营养导向转变（图1）。

在新时期“质量兴农”的大食物观语境下，我国目前依靠平原耕地产出的大宗农产品已基本满足温饱需求，以谷物类、豆类、薯类为主的粮食范畴，已无法适应膳食结构改善对蔬菜、肉类需求上升的客观事实[23]。因此，基于国家战略布局与区域比较优势，我国应依托雨热同期的平原耕地保障大宗农产品的基本生产，而在冷凉山地进一步解决品质型农产品供给问题，依托山区独特的自然资源禀赋，将复杂的地形劣势转化为独特的气候资源优势，以补充传统耕地农业短板，缓解消费升级带来的“新保供压力”。

1.2 甘肃省冷凉区开发理论框架构建

甘肃全省冷凉气候资源占比超50%，明显优于我国的东部及中部地区，但由于过去长期不合理的土地利用结构与掠夺式的开发利用，不仅没有使粮食增产，反而造成生态系统失调，亟需寻求传统农业向现代农业转型的新路径[24]。在国家生态文明建设战略的宏观背景下，冷凉经济在我国广袤国土空间中发挥着支撑山区探索经济转型和培育特色经济的重要使命，是新时期“三农”工作重心历史性转移的背景下农业发展主战场[25]。

在区域指向上，冷凉型农业开发主体面向广大高海拔与高纬度山区。研究表明，冷凉生态环境地区生产的农产品与平原地区相比具有更优风味、更高营养[8]，且长期冷凉低温环境抑制了微生物和害虫繁殖，加之冷凉山区地域辽阔，远离城镇，几乎没有城市化与工业化污染，农产品具备天然的绿色安全属性[10,26]。基于山地冷凉气候区别于传统平原地区雨热同期的特点，其农业产量虽不如平原耕地，但品质上却具有绝对竞争优势[27]。

在类型与方法指向上，冷凉型农业是以林牧业为主、种植业为辅的绿色农业、生态农业、高效农业。通过引导林果业上坡上山，允许在不破坏耕作层的基础上，发展粮食作物之外与当地气候生产力和土地条件相适应的农畜产品[28]。为促进农业种养结构的调整优化契合于居民消费结构的升级及膳食结构，支撑多元食物供给体系提供有效保障。此外，通过统筹以往粮经、粮饲、粮油之间的矛盾，不仅可以防止耕地“非粮化”甚至“非农化”现象的

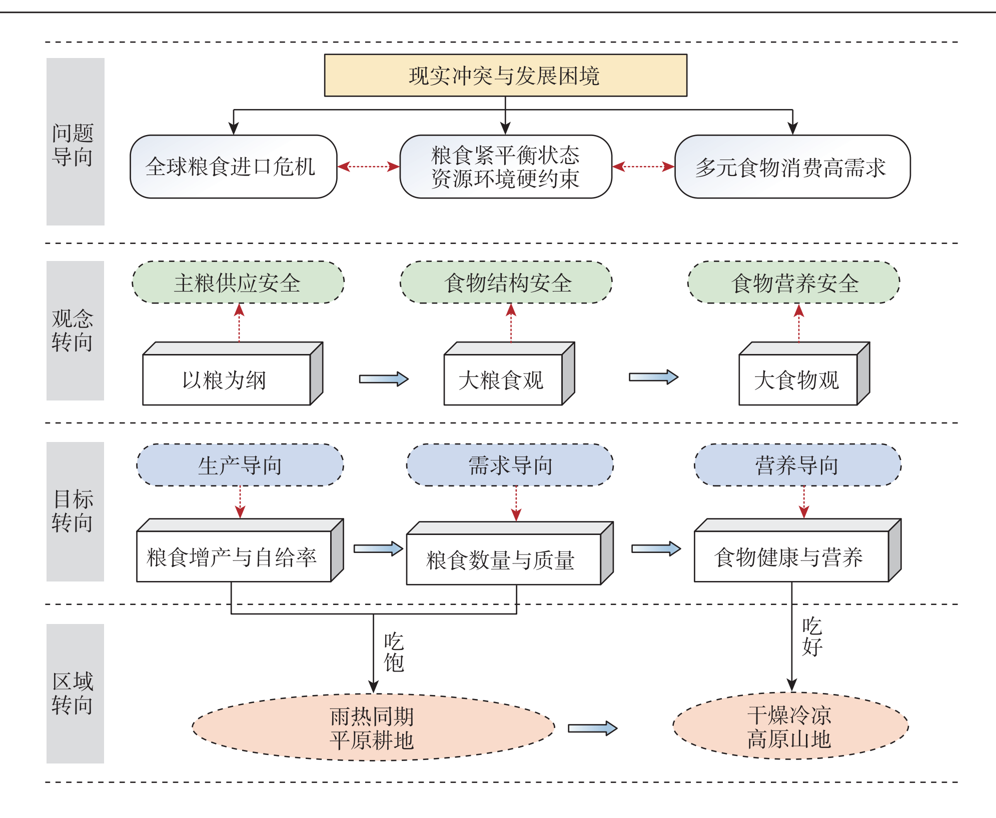


图1　大食物观视角下中国农业高质量发展的转向逻辑

Fig. 1　Logic of turning to high-quality agricultural development in China from the perspective of “Greater Food” approach

产生，也能够在一定程度上减缓耕地资源保护与局域水土承载压力[29]。这不仅有利于发挥区域资源优势，也能防止农户在无法种植经济作物和粮食作物低收益的权衡下发生耕地撂荒的结果[30]。

在目标指向上，冷凉区开发是甘肃省“扬长避短”发挥比较优势，同时“优胜劣汰”增强竞争优势的农业发展路径。通过建立与当地气候生产潜力相适宜，土地类型相适应的冷凉型农业生产体系，将甘肃省大面积山区冷凉干燥的气候劣势转化为特色农业生产的资源优势，充分契合国家向“山林湖海要粮食”的“藏粮于地”战略。通过推动全国食物供给体系革新与农业区域专业化分工，在夯实粮食生产基础的同时，也为农作物多宜性和区域专业化发展提供可能，是立足中国本土挖掘山地农业之纵深的有益尝试。

综上，在新时期“产量-质量-高质量”的话语转换入口处，本文构建了以高山冷凉气候优势区为区域指向、以特色林牧业为主要开发类型，以生产高品质农产品为方法指向，以促进山地农业高质量发展为目标指向的冷凉型农业资源开发的逻辑框架（图2）。以期利用西部地区自然资源禀赋推进农业高质量发展，在消费升级背景下驱动供给侧的提档升级，为更多欠发达地区的农业高发展提供参考借鉴。

2　数据与方法

2.1　研究区概况

甘肃省具有“座中七联”“涉藏临疆”的区位特点，是丝绸之路经济带上重要省份，也是中国西部地区唯一具有承东启西、南拓北展区位优势的省区[24]。省内山地高原面积占比75.5%，光辐射资源较东部同纬度地区高出30%以上，大部分地区气温日较差在10~16 ℃。山川复杂的自然环境与光热条件化育了丰富的名优特稀资源，是典型适宜发展冷凉型特色农业的地区。本文依据甘肃省“十四五”发展规划[甘政发〔2021〕18号]，将甘肃省划分为河西地区（嘉峪关市、酒泉市、张掖市、金昌市、武威市）、陇中地区（兰州市、白银市、定西市、临夏州）、陇东南地区（庆阳市、平凉市、天水市、陇南市、甘南州）（图3）。

2.2　地理叠置分析

叠置分析是通过同一地区两组或两组以上要

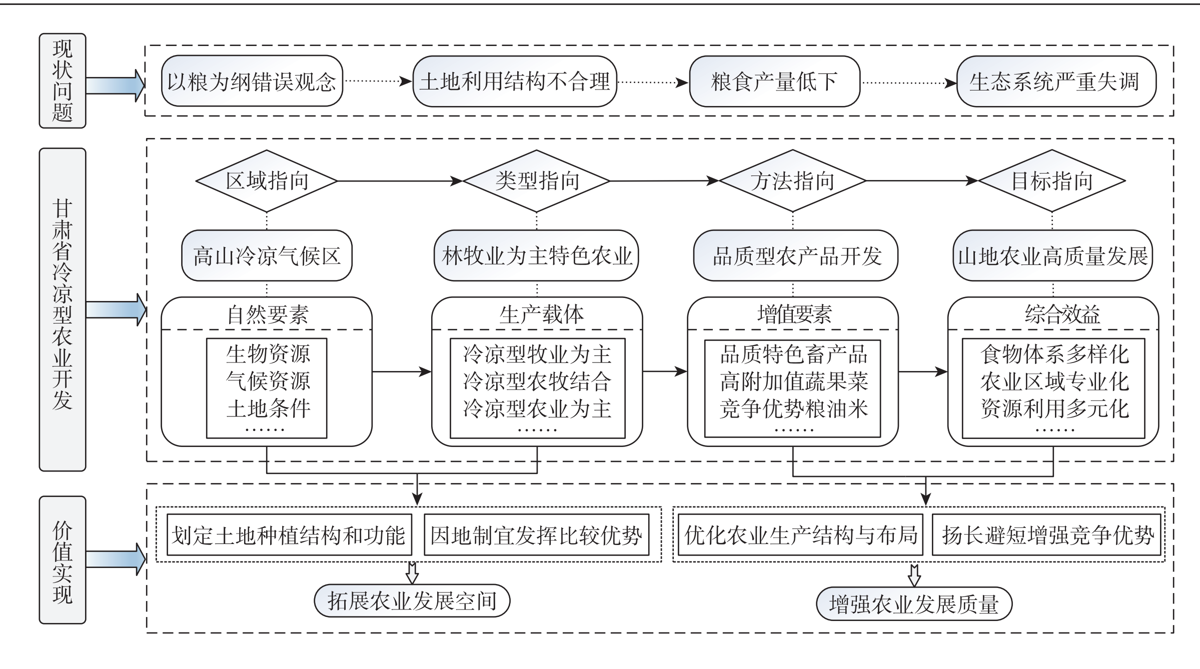
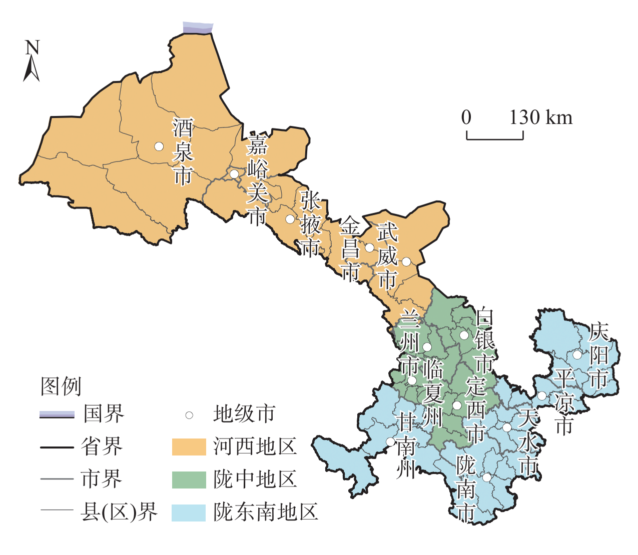


图2 甘肃省冷凉区开发理论框架

Fig. 2 Theoretical framework for cold and cool agricultural resource development in Gansu Province



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2020)4630号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图3 研究区示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the study area

素图层的空间叠置来划分区域单元的方法[31]。将海拔高度、坡度、年均气温、7月均温、≥10 ℃积温、年均日照时间、月均昼夜温差、裸地占比8类栅格数据按照具体指标范围，利用ArcGIS技术落到1 km精度的格网单元，通过叠置栅格要素图层，识别甘肃省冷凉区地理空间范围。

2.3 评价模型构建

(1) 指标选取与说明

冷凉型农业资源生产力水平与自然环境条件密切相关，区域内不同的自然环境组合决定着农业土地利用方式和强度、品种选择与布局等，是针对区域特点进行类型划分的基础依据。参考相关成果，从地形地貌、水资源、风力资源、光热资源、植被资源、土地资源、农田资源7个维度出发，遵循综合性、科学性和可获得性确定了20个指标构建了甘肃省冷凉区农业开发类型评价模型(表1)。以1 km格网单元为基础对甘肃省进行以农业生产为主导功能的地域类型划分，识别宜农区域并确定农业发展类型与布局优化方案。

(2) 指标权重的确定

由于判别和划分区域冷凉型农业发展类型的各项指标数据存在量纲差异，需要对原始数据进行极差标准化处理，使处理后的数据指标值在[0, 1]范围内。本文计算目的在于按照内在相似性将研究区内格网单元划分为多个类别，使类别内的数据相似度较大而类别间的数据相似度较小，因此评价指标不存在正负向指标的区分，全部按照正向指标进行标准化处理。计算公式如下[32]：

$$X_{ij}=\frac{X_{ij}-\min X_{ij}}{\max X_j-\min X_j} \qquad (1)$$

式中：X_{ij} 为甘肃省农业类型划分指标体系中第 i 个格网单元第 j 个指标的标准化处理结果；$\max X_j$ 和 $\min X_j$ 分别为指标体系中第 j 个指标中所有原始数

表1 甘肃省冷凉区农业类型分区指标体系

Tab. 1 Index system of agricultural type zoning in cold and cool area of Gansu Province

指标类别	具体指标	数据来源	权重/%
地形地貌	海拔高度(DEM)	地理空间数据云(ASTER GDEM V3版,http://www.gscloud.cn)	1.86
	坡度	基于30 m分辨率DEM地形数据计算	5.14
	地形起伏度		3.01
水资源	干燥度	中国科学院资源环境数据中心(中国气象要素年度空间插值数据集,https://doi.org/10.12078/2022082501)	4.67
	年均湿润指数		0.74
	年均降水量		3.24
风力资源	年均风速	中国科学院资源环境数据中心(中国气象要素年度空间插值数据集,https://doi.org/10.12078/2022082501)	1.50
光热资源	≥10 ℃积温	中国科学院资源环境数据中心(中国气象要素年度空间插值数据集,https://doi.org/10.12078/2022082501)	1.11
	年均日照时间		1.30
	年均气温		1.33
	月均昼夜温差	全球2010—2020年覆盖陆地表面的0.5°分辨率的月度数据(https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/)	0.21
	7月均温		0.73
	1月均温		0.71
植被资源	归一化植被指数(NDVI)	中国科学院资源环境数据中心[中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集,http://www.resdc.cn/10.12078/2018060601]	3.65
土地资源	草地占比	国家青藏高原科学数据中心(中国土地覆被占比数据集,https://doi.org/10.6084/m9.figshare.13147928.v4.)	6.79
	耕地占比		15.05
	林地占比		25.01
	荒地占比		10.89
农田资源	农田生产潜力	中国科学院资源环境数据中心(中国农田生产潜力数据集,http://www.resdc.cn/10.12078/2017122301)	0.68
	光温生产潜力	中国科学院空天信息创新研究院(全球植被光温生产潜力数据集,http://www.aircas.cas.cn/)	12.38

注:年均数据均采用2018、2019、2020年3 a的平均数据。

据的最大值和最小值。

为避免主观因素带来的偏差,根据上文建立评价体系,采用熵值法根据各指标所提供的信息量获得各指标权重,计算公式如下:

$$H_j = -k\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{ij} \times \ln Y_{ij}\right) \tag{2}$$

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} X_{ij}} \tag{3}$$

$$W_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^{m}\left(1 - H_j\right)} \tag{4}$$

式中: H_j 为标准化后j项指标的熵值;$k = \frac{1}{\ln n}$;n 为所有指标数量;i 为格网单元数量(个),本文 i 取169249; Y_{ij} 为第i个格网单元第j项指标所占比例; X_{ij} 为第i个格网单元第j项指标的标准化后数值; W_j 为第j个指标的权重。基于熵值法突出局部差异的原理,甘肃省光热资源的区域间差异较小,因此权重较小;而土地资源的空间分布差异较大,效用价值更大,因此权重更大,这与过往研究一致[10]。

2.4 *K*-means聚类分析

K-means聚类分析是基于欧式距离的无监督学习聚类算法,分类结果满足类内差异最小化和类间差异最大化的有效方法,针对数据集进行划分,将其归为若干组别,旨在探寻数据集空间分布规律以及典型特征模式。将前述极差标准化后的值乘以对应的权重所得到的新指标数值作为聚类分析的初始数据。聚类的具体过程为:将169249个格网划分为k类,随机选取k个格网单元作为k个初始类的中心元素;其次,基于距离最近规则将剩余格网单元分配至最近的类中,得到k个类型簇 $C = \{C_1, C_2, \cdots, C_k\}$,并取每个簇中所有格网单元的均值作为新的类中心;最后,重新将格网单元分配给最近的类中心,反复迭代以上过程至类中心不再发生变化时停止聚类,并生成最终的类型分组[33],公式如下:

$$\min J(C)=\sum_{x_i\in x} w\times d^2\left[x_i, C(x_i)\right],\ C=\{C_1, C_2, \cdots, C_k\}\quad(5)$$

式中：$J(C)$ 为每一类型簇内格网单元到其类中心的距离平方和；w 为要素权重；d 为欧氏距离；x_i 为第 i 个格网单元；$C(x_i)$ 为类别 C 的中心。为确定最佳分类 k 的参数值，利用Calinski-Harabasz（CH）伪 F 统计量评估不同分组方式的组间差异性和组内相似性，判断模型拟合程度[33]。经过多次试验，k 值为7时伪 F 统计量最高，分类结果的可信度最高。

3 结果与分析

3.1 甘肃省冷凉区范围及空间分布

3.1.1 冷凉区地理范围识别 海拔高度的变化规律是山地农林牧气候带层的基础要素，选取1000~3500 m中海拔区域为研究对象；在坡度方面，由于本文对冷凉区进行以农业生产为主的空间类型划分，因此剔除坡度在30°以上的地区①；通过查阅家畜放牧对气温条件的要求，当气温≥25 ℃时则对畜种生长不利，以此确定7月均温的上限[34]；总热量指标一般以积温作为气候带层划分指标，甘肃省内全年≥10 ℃积温在580~5064 ℃范围内，≥10 ℃积温少于1300 ℃的地区农业产量不稳定，选取≥10 ℃积温在1300~3500 ℃范围的区域；此外，选取年均日照时间>2000 h，月均昼夜温差>10 ℃，年均气温<10 ℃的地区，其具备较为突出的冷凉气候特征，既可以种植适宜冷凉环境的农作物，同时也可以满足“稳产”所需要的农业气候条件。

由于甘肃省干旱严寒大风等恶劣气候，省内有约71464 km^{2}未被植被覆盖的荒裸地，由于极端的环境条件，目前属于未开发利用土地，因此进行剔除，不列入冷凉区的识别范围。通过将8个指标的空间尺度统一为1 km格网单元，利用叠置分析得到冷凉地区（图4），剔除异常值和无数据格网后共得到169249个格网单元。

3.1.2 冷凉区空间分布格局 结合前述对冷凉气候的环境概念，以海拔高度、坡度、裸地占比、年均气温、7月均温、月均昼夜温差、年均日照时间、≥10 ℃积温共8个指标，识别出甘肃省冷凉区共计183760个格网单元。与21个自然指标空间链接建立统一的矢量单元，通过剔除连接后的异常值、重复值和空缺值后，根据新的冷凉栅格数据创建了169249个1 km精度的格网单元（图5a）。进一步将冷凉区与甘肃省1417个乡镇数据进行相交分区统计，选取冷凉栅格数据占比在30%以上的乡镇作为适宜发展冷凉型农业的乡镇，其区域分布与冷凉栅格数据区域基本保持一致，共1034个乡镇(图5b)。

结果显示，甘肃省冷凉区面积约1.69×10^5 km^2，占全省陆地总面积的41.97%，集中分布在河西走廊祁连山、马鬃山以及陇中黄土高原、陇南中部山地以及陇东北部山地丘陵地区，不包括北山荒漠带和陇南极高山地区。冷凉优势地区月均昼夜温差均值为15 ℃，年均气温在−6~10 ℃，冬季1月均温在−19~3 ℃之间，夏季7月均温在10~25 ℃之间，除陇中南外，年日照时数达2400 h以上，河西地区逾3200 h，年均降水量为470 mm，区域内气候条件整体表现为气温低、温差大、降水量少、风量大、热量资源丰富的大陆性气候特征。

3.1.3 冷凉区区域占比 为识别行政单元尺度的冷凉型优势地区，将冷凉栅格区域与行政区界相交，分别选取市（自治州）、县（区）和乡（镇）中，冷凉区占比超过30%的区域，结果显示（图6），甘肃省冷凉区分布在12市（自治州）、68县（区）、1034乡（镇）。在市域尺度，以白银市、兰州市、定西市、金昌市、临夏州、庆阳市为代表；在县域尺度上，78%的县（区）均具有冷凉优势，67%的区县冷凉面积占比超一半以上，其中，临夏县、皋兰县、安定区、白银区均为高占比区域；在乡（镇）尺度上，甘肃省1417个乡镇中，共识别出1290个乡镇具有冷凉气候，1034个乡镇冷凉面积占比超过30%，608个乡镇冷凉区面积占比达90%以上，多数乡镇均具有冷凉型农业发展潜力。

由于空间尺度效应，冷凉区面积占比低的区县内部仍存在有高占比的冷凉型优势乡镇，例如：位于武威市的凉州区、古浪县等；天水市黄门乡、金集镇等。因此，为避免具有较大冷凉型特色农业发展潜力的乡镇在统计时被低估，在更精细尺度上识别冷凉型优势区域的空间指向具有其必要性。

3.2 甘肃省冷凉区各分区农业发展类型

为进一步开发利用冷凉型农业资源，对甘肃省冷凉区内部进行以农业生产为主导功能的开发类

① 按照山地坡度分级，坡度小于20°的坡地适合发展种植业，25°~30°的坡地适合发展林果业，30°以上无法进行农业开垦与种植[34]。

图4 甘肃省栅格数据指标叠置分析

Fig. 4 Stacked analysis of raster data indicators in Gansu Province

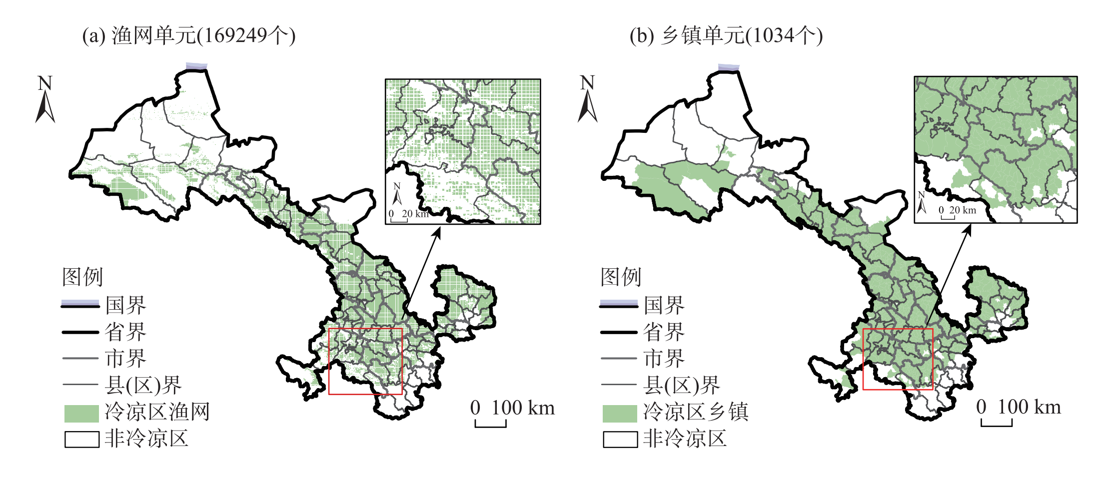


图5 甘肃省冷凉区空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of cold and cool areas in Gansu Province

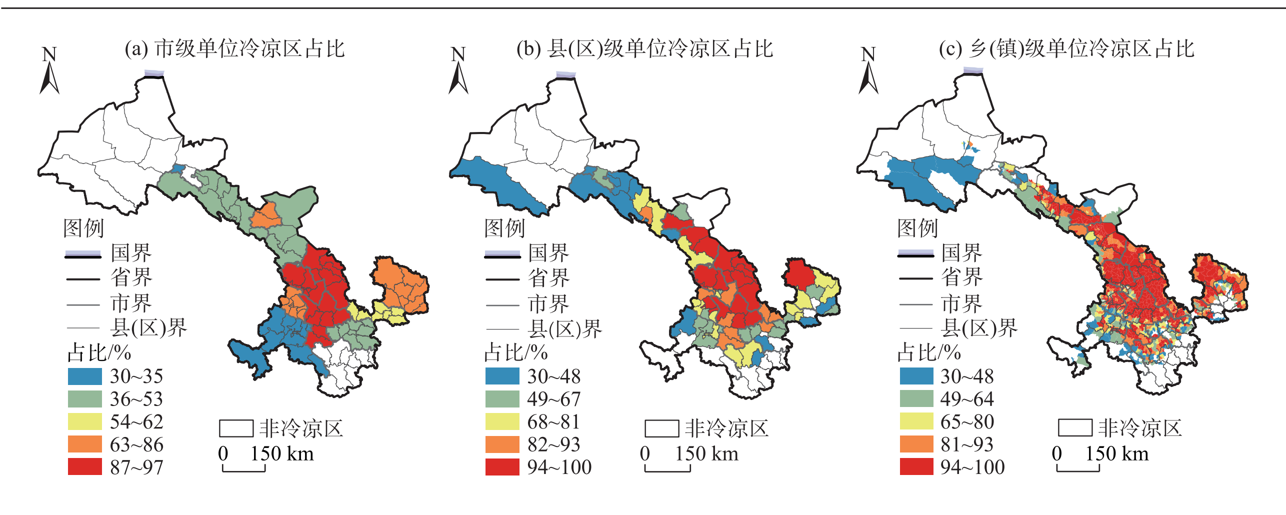


图6 甘肃省市域、县域、乡镇尺度冷凉区占比

Fig. 6 Percentage of cold and cool areas in Gansu Province at city, county and township scales

型识别、发展方向与途径研判。首先,立足区域自然资源禀赋,通过查阅甘肃省农业生产布局与农业综合区划[34-35],秉持区内一致性和区间差异性的原则,挖掘不同区域农业特色与比较优势。其次,通过定性分析与定量结果相结合,根据地区经济特点与农业发展状况,提出区域农业发展的战略目标、重点与发展方针,评价区内农业结构与布局的合理性以及改善欠缺地区生产条件的建议,因地制宜制定有针对性的发展策略。

依据自然环境指标和土地覆被占比的差异化均值(表2),甘肃省冷凉区农业开发类型可划分为7类,其中牧业4类:北山荒漠高寒牧业区(Ⅰ)、甘南高原湿冷牧业区(Ⅱ)、祁连山地旱寒牧业区(Ⅲ)、黄土高原旱凉牧业区(Ⅳ);种植业1类:河西走廊温凉耕作区(Ⅴ);混合型2类:陇中山地温凉农牧区(Ⅵ)、陇南山地湿冷农林牧区(Ⅶ)。为保证在完整

表2 农业类型区分类指标均值

Tab. 2 Average values of indicators for agricultural type zones

指标类别	具体指标	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ
地形地貌	海拔高度/m	2987.63	3125.55	2771.31	1784.16	1724.22	1737.85	2347.97
	坡度/(°)	3.83	11.52	8.86	4.09	6.79	7.65	12.03
	地形起伏度/(°)	313.62	361.92	322.11	181.62	176.66	177.85	280.27
水资源	干燥度	10.59	0.96	2.58	2.98	1.56	1.45	1.34
	湿润指数	−56.78	21.05	−23.77	−35.95	−10.32	−14.88	−0.64
	降水量/mm	82.09	550.87	264.76	223.21	457.74	417.00	507.86
风力资源	风速/m·s^{-1}	3.34	2.54	3.09	2.34	1.99	2.08	2.29
光热资源	≥10 ℃积温/℃	1160.83	641.53	810.29	2525.02	2452.26	2358.31	1675.18
	年均日照时间/h	3171.84	2039.97	2784.91	2668.59	2120.78	2315.29	1973.68
	月均昼夜温差/℃	16.48	14.72	15.63	15.65	12.11	12.54	11.56
	年均气温/℃	0.01	1.13	−0.55	6.16	6.77	6.56	4.52
	7月均温/℃	17.49	15.06	16.72	23.14	22.61	22.39	18.63
	1月均温/℃	−14.44	−7.59	−11.69	−7.94	−5.23	−6.03	−5.66
植被资源	归一化植被指数(NDVI)	0.13	0.82	0.60	0.34	0.72	0.60	0.81
土地覆被	草地占比/%	0.25	0.83	0.84	0.85	0.05	0.64	0.34
	耕地占比/%	0.00	0.05	0.08	0.02	0.90	0.28	0.34
	林地占比/%	0.00	0.11	0.07	0.00	0.03	0.06	0.32
	荒地占比/%	0.74	0.00	0.01	0.12	0.00	0.00	0.00
农田资源	农田生产潜力	52.88	39.49	48.83	72.16	62.52	66.60	52.81
	光温生产潜力	0.01	0.18	0.37	0.14	0.95	0.83	0.70

注:Ⅰ为北山荒漠高寒牧业区;Ⅱ为甘南高原湿冷牧业区;Ⅲ为祁连山地旱寒牧业区;Ⅳ为黄土高原旱凉牧业区;Ⅴ为河西走廊温凉耕作区;Ⅵ为陇中山地温凉农牧区;Ⅶ为陇南山地湿冷农林牧区。

的乡镇及区县的行政区界进行分析，将格网单元与区县、乡镇相交，选取7种农业类型中格网面积占比最大的作为该区域的主导农业类型(图7)。根据1 km格网单元统计，冷凉型牧业、种植业、混合型农业分别占比56.22%、16.30%和27.49%；而在行政单元尺度的统计上，可发展三大类农业类型的占比较为平均，均为30%左右的乡镇和区县数量。在格网尺度上，甘南高原湿冷牧业区(Ⅱ)面积占比最高，为26.30%，而在乡(镇)尺度和县(区)尺度上，均为河西走廊温凉耕作区(Ⅴ)的种植业类型占比最高，甘肃省近40%的乡镇和区县可发展冷凉型种植业。

3.2.1　牧业类型　北山荒漠高寒牧业区(Ⅰ)：本区位于祁连山西段的阿尔金山地区，面积14418 km²，占比8.53%。区域内荒漠占比高，草地仅25%，大部分为荒漠和半荒漠草原且草质一般。年均气温-5~5 ℃，水源匮乏，但年均日照时间达3000 h以上。该区应进行植被恢复与防护林带营造，同时不断“拓荒”扩充优质饲草种植区域，逐步改善草原生态系统。在牲畜品种选择上以耐粗饲，生产性能高的骆驼、山羊、羔皮绵羊为重点品种。

甘南高原湿冷牧业区(Ⅱ)：面积14278 km²，占比8.44%，甘南州、夏河县、卓尼县、临潭县占比较高。海拔2021~3500 m，以地形起伏度较大的坡地草场为主，年均气温-5~8 ℃，光热资源匮乏，热量条件较差。但气候湿润，水丰草茂，具有高产草量及载畜量，野生动植物资源丰富。本区拥有众多品质型畜产品，肉乳兼用的牦牛、“河曲马”均为我国的优良育种；“欧拉羊”“甘加羊”肉毛兼用的优质藏系羊；临潭县的“黑紫羔羊”是甘肃省较好的裘皮羊种之一；岷县“闾井猪”肉嫩、皮薄，是加工腊肉、火腿的优质肉源，应对其加以投入和开发。

祁连山地旱寒牧业区(Ⅲ)：面积21870 km²，占比12.93%，主要位于张掖市、金昌市、武威市，天祝县、肃南县占比较大。海拔多在1828~3500 m，年均气温0 ℃以下，热量条件差，但牧草干物质与矿物质含量较高。本区问题在于可供放牧的天然草场少，单位面积产草量和载畜量均低，主要靠农田养畜。应优先考虑天然草场的合理利用，划区轮牧，推广牧业机械化；同时，在本地品种选育的同时引入外地良种杂交以提高地方品种的生产性能，使牛向乳肉兼用方向发展，提高绵羊产毛量和产肉量等，切

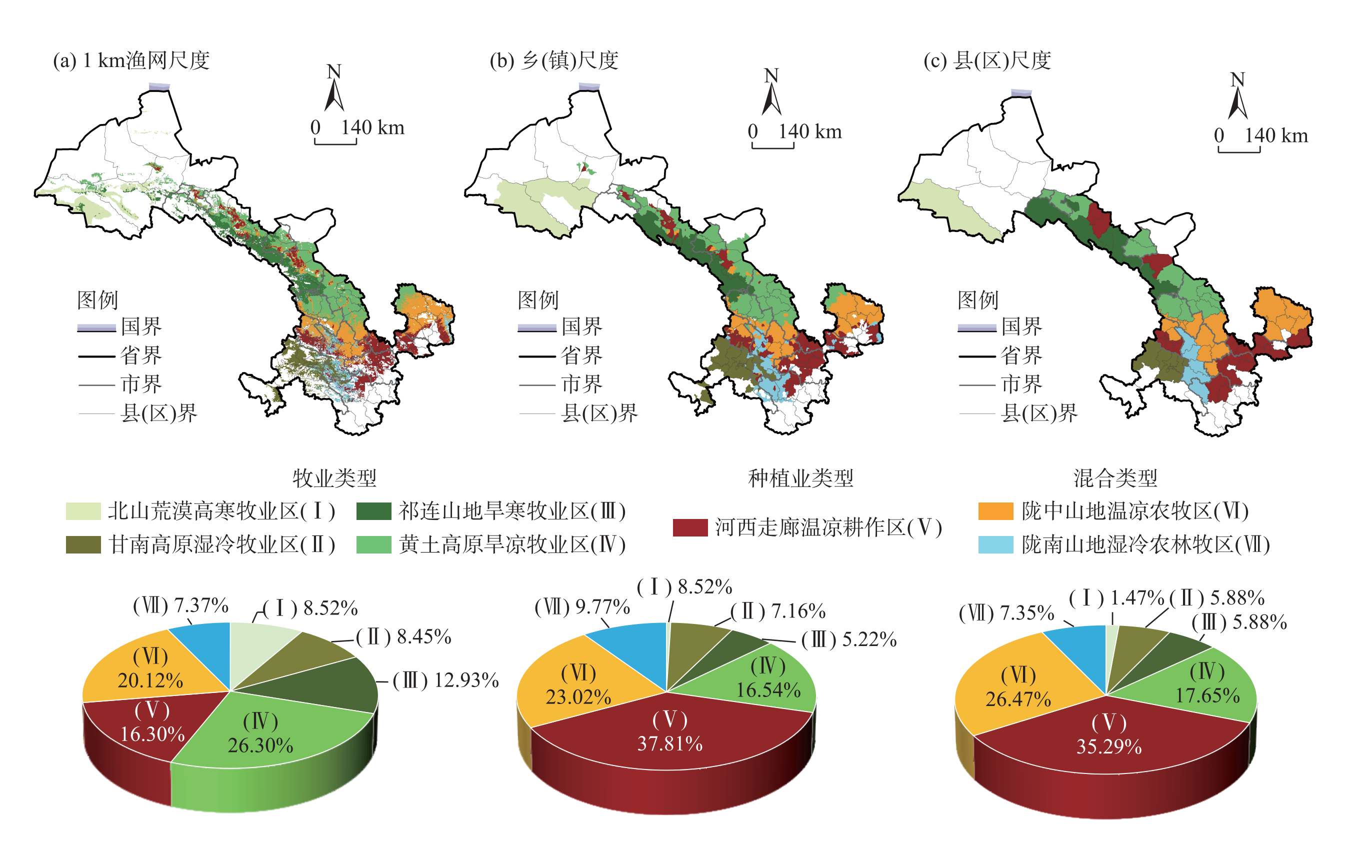


图7　甘肃省冷凉区农业开发类型及其占比

Fig. 7　Types of agricultural development and their percentage in cold and cool areas of Gansu Province

实做到数量和质量并重。

黄土高原旱凉牧业区(Ⅳ):面积44511 km²,占比26.32%,主要分布在河西走廊、陇中偏北及环县北部,以古浪县、靖远县为代表。区域平均海拔高度1784 m,月均昼夜温差15.7 ℃,年均日照时间近2700 h,光热条件优越利于有机质积累,畜牧业占绝对优势。兴隆山、马啣山、连城一带森林和草场覆被较好,广阔草滩和山地可供放牧,是裘皮羊(滩羊、沙毛山羊)的主要产地;景泰县、古浪县的三北羊较为著名,应注意本品种的选育,保持其种性。

3.2.2 种植业类型 河西走廊温凉耕作区(Ⅴ):面积27567 km²,占比16.30%,集中于临夏州、天水市、平凉市、定西市和庆阳市等地,沿河西走廊呈零散条带状分布。平均海拔约1700 m,以坡耕地、山旱地为主。≥10 ℃积温2452 ℃,月均昼夜温差达12 ℃,是7种类型中光温生产潜力最高的类型区,种植业具有显著优势。乐民紫皮大蒜、金昌萝卜、榆中白菜、宁县核桃、天水花牛苹果等均为全国品质最佳的优质农产品。浅山地带可种植青稞、洋芋、燕麦等,较高海拔地区可推广种植高原夏菜、青贮玉米等特色蔬菜及大本油料、大麻、药材等经济作物,获得更高经济效益。

3.2.3 混合类型 陇中山地温凉农牧区(Ⅵ):面积34020 km²,占比20.12%,主要分布在陇中南和陇东南,以永靖县、会宁县、华池县为代表。平均海拔高度1700 m,月均昼夜温差大,光热资源较好。主要为山旱地,牧业粗放经营,生产力低下。建议发展半农半牧经济模式,农区畜牧业应采取舍饲与放牧相结合,可提高站羊、滩羊、沙毛山羊、"庆阳驴"等该区域优良品种的生产率;种植业重点推行抗旱耐寒作物(黑麦、洋芋以及豆科)和草粮轮作,增加农作物秸秆、绿肥、苜蓿种植面积,在保障饲草饲料供给的同时加速培肥地力。

陇南山地湿冷农林牧区(Ⅶ):面积12459 km²,占比最少,仅7.37%,以渭源县、临洮县、漳县为代表。热量资源偏少,坡度与地形起伏度最大,属农林牧综合区。农业发展需开辟"先草后林、粮草轮作、以养带种、以种带养"的发展路径。逐步将陡坡耕地退耕种草种树,提高林牧业的比重。同时注重饲草与饲料生产,用绿肥作物代替轮歇地发展畜牧业;该区子午岭林区温凉湿润,生物资源丰富,适宜虫草、鹿茸等名贵中药材,林业以薪炭林和水土保持林为主,实现林粮、林油间作。

3.3 甘肃省冷凉资源综合开发路径

冷凉区农业资源开发与利用的实质在于基于对冷凉山区生态类型格局和资源禀赋特征的认识,结合粮食保供目标任务和重要农产品市场需求因素,对冷凉区内部进行不同类型土地功能区的合理规划,进而提高利用冷凉型资源进行生产经营活动的适应性与能力,实现区域生态与经济良性循环。

具体来说,一是要因地制宜,优化农业产业结构。在农业生产方面降低粮、棉、油等土地资源密集型农产品比重,加大对高品质果蔬茶等劳动密集型产品以及畜牧养殖业及加工品的生产投入和扶持力度,发挥以甘肃省为代表的西部地区农业比较优势。例如,利用省内大面积高山冷凉的气候优势发展反季蔬菜种植,建立起全国"菜篮子"保供基地,实现全国蔬菜生产的东西互补;利用高山草场旱冷气候条件下所生长的稀贵地方畜种类群,打响"千年肉羊之乡民勤""天祝白牦牛"等特色农畜品牌,由单一抓粮食生产转变为农林牧复合化经营,并加快建设一批规模化与专业化的生产基地,发挥投入产出的倍加效应。

二是要发挥区域竞争优势,优化农作物的产品结构,以"质量兴农"提高市场竞争力和综合经济效益。借助西北地区优越的自然资源禀赋条件,大力发展绿色有机安全食品,通过引进、改造和推广优良品种,扬长避短,形成高端农产品产业链。例如,加大对冷凉山地"名特稀优"农业资源的深度挖潜,根据不同区域独具的特色资源与文化内涵,打造一批如"会宁莜麦""民乐紫皮大蒜""定西马铃薯"等冷凉型地理标志农产品,满足消费者对高品质富营养的食品需求,推动"山货"提质增值变"尖货",逐步促进以林畜业为主的冷凉型山地农业向区域化布局、规模化生产、产业化经营方向发展,以冷凉经济成就"中国饭碗"。

综上,甘肃省需在确保国家粮食产量稳定的前提下,尊重农民意愿和种植历史传统,通过坚持拓展农业发展空间与增强农业发展质量并重,逐步形成同市场需求相适应、资源环境承载力相匹配的现代农业生产结构和区域布局。以特色化和差异化的发展理念推进冷凉型农业生产区域化、品质产品专业化、经营发展可持续化,解决我国农业市场长期存在的基本口粮过剩与品质型农产品短缺这一结构性问题,推动全国食物供给体系革新。

4 讨论

近年来我国农业区域布局结构调整仍存在结构趋同现象，特色农业区域化布局和产业化分工尚未形成，未能充分发挥地区比较优势，农业生产结构调整滞后于保障大食物安全的需要。以粮食为主的传统农业区虽年年丰收，却陷入"增产不增收"的怪圈，其根本原因在于片面追求粮食增产的农业生产结构与不断升级的食物需求结构之间存在错配，农业生产结构调整滞后于保障"大食物"安全的需要。我国山区占据国土总面积的2/3，分布于19个省市的1400多个县区，这些地区既是我国粮食和特色农产品的重要产地，也是相对贫困人口的集中地[5]。由于山区特殊的地理地貌导致传统大田农业发展受限，因此，逐步形成与冷凉资源特点相适应的山地农业经济格局，促使农业生产由高产型向高质型转变，是西部山区转变农业发展方式，缩小其与发达地区的经济发展差距的重要途径。

冷凉资源是一种尚未被大规模开发利用的"新资源"，它在新产业中的应用范围和应用形式尚处于探索阶段，不同地区适宜的产业类型并不相同。如何利用这种"新资源"，找到最适合本地农业发展的绿色产业，需要政府和学界对相关问题进行更深入的调查。未来应继续开展全国不同省市县的冷凉区识别与开发，通过综合各个地区不同尺度下冷凉型农业开发与利用的特点与途径，探索出多尺度多类型冷凉型农业高质量发展的可持续路径，在理论上丰富冷凉型农业资源识别、开发与利用的科学体系；在实践上，明确冷凉型农业在全国农业开发体系中的地位和作用，为全国建立优势冷凉地区开发技术规范体系与典型模式示范，以指导农业生产。

5 结论

（1）综合8类自然指标叠置分析，识别出甘肃省冷凉气候区共计169249个格网单元，冷凉区面积共1.69×10^5 km^2，约占全省土地面积41.97%，12市（自治州）、68县（区）、1034乡（镇）适宜发展冷凉型农业。

（2）选取20个具体指标构建反映自然条件的农业功能分区指标体系，将甘肃省冷凉区划分为北山荒漠高寒牧业区、祁连山地旱寒牧业区、黄土高原旱凉牧业区、甘南高原湿冷牧业区、河西走廊温凉耕作区、陇中山地温凉农牧区、陇南山地湿冷农林牧区7种农业地域类型。

（3）甘肃省冷凉区7类农业类型中包括牧业4类，种植业1类，农牧混合型2类，根据1 km格网单元统计，冷凉型牧业、种植业、混合型农业分别占比56.22%、16.30%和27.49%；而在行政单元尺度，可发展三大类农业类型的占比较为平均，均为30%左右的乡镇和区县数量。

（4）建立在自然条件可能性基础上的农业地域分工与专业化是实现农业现代化高质量发展的必由之路，甘肃省在冷凉区开发过程中应分区分类差异化推进，在耕地减少传统作物面积，改进种植品种与结构；林地建立高山反季有机蔬菜基地；草地打造品质型畜牧新业态，形成与市场需求相匹配的冷凉型特色农业生产结构和区域布局。

参考文献(References)

[1] 朱晓华, 张燕, 朱媛媛. 大食物观视角下中国耕地保护的分区调控与区间协同[J]. 地理学报, 2023, 78(9): 2147-2162. [Zhu Xiaohua, Zhang Yan, Zhu Yuanyuan. Regional regulation and interregional coordination of cultivated land protection in China from the perspective of "Greater Food" approach[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(9): 2147-2162.]

[2] 王念, 程昌秀, 林耿. 中国农产品贸易结构演化及对粮食安全的影响[J]. 地理学报, 2022, 77(10): 2599-2615. [Wang Nian, Cheng Changxiu, Lin Geng. Evolving agricultural trade structure and its impact on food security in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(10): 2599-2615.]

[3] Yan D H, Wu S H, Tang Y S, et al. Arable land and water footprints for food consumption in China: From the perspective of urban and rural dietary change[J]. Science of the Total Environment, 2022, 838: 155749, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155749.

[4] Zhu X H, Zhang Y, Zhu Y Y, et al. The shift to plant-based dietary patterns in China would have significant effects on cultivated land resources[J]. Science Bulletin, 2024, 69(6): 737-740.

[5] 刘彦随, 陆大道. 中国农业结构调整基本态势与区域效应[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 381-389. [Liu Yansui, Lu Dadao. The basic trend and regional effect of agricultural structure adjustment in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(3): 381-389.]

[6] 朱晶, 李天祥, 林大燕. 开放进程中的中国农产品贸易: 发展历程、问题挑战与政策选择[J]. 农业经济问题, 2018, 39(12): 19-32. [Zhu Jing, Li Tianxiang, Lin Dayan. China's agricultural trade in economic opening-up: Development, challenges and future poli-

cy alternatives[J]. Issues in Agricultural Economy, 2018, 39(12): 19-32.]

[7] 张少尧, 邓伟, 胡茂桂, 等. 山区过渡性地理空间人文自然交互性识别与分异解析[J]. 地理学报, 2022, 77(5): 1225-1243. [Zhang Shaoyao, Deng Wei, Hu Maogui, et al. Identification and differentiation of human-nature interaction in mountainous transitional geospace of China[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(5): 1225-1243.]

[8] 关慧明. 气流循环暨冷凉生态对农业的影响及利用[M]. 北京: 群众出版社, 2013. [Guan Huiming. Influence and utilization of air circulation and cool ecological environment on agriculture[M]. Beijing: Masses Publishing House, 2013.]

[9] 索亚林, 兰妮, 兰云峰. 中国北方冷凉气候生态经济带(区)发展分析与展望[J]. 农业展望, 2020, 16(12): 72-77. [Suo Yalin, Lan Ni, Lan Yunfeng. Analysis and prospect of the development of eco-economic zones (regions) with cold climate in northern China[J]. Outlook on Agriculture, 2020, 16(12): 72-77.]

[10] 胡舒云, 陆玉麒, 胡国建. 中国中海拔地区冷凉型农业生态资源识别、开发与启示[J]. 自然资源学报, 2024, 39(2): 446-464. [Hu Shuyun, Lu Yuqi, Hu Guojian. Identification, development and insight of cold and cool agro-ecological resources in the middle altitude region of China[J]. Journal of Natural Resources, 2024, 39(2): 446-464.]

[11] 江小莉, 温铁军, 施俊林. "两山"理念的三阶段发展内涵和实践路径研究[J]. 农村经济, 2021, 39(4): 1-8. [Jiang Xiaoli, Wen Tiejun, Shi Junlin. Three-phase development connotation and practice paths of the "Two Mountains" concept[J]. Rural Economy, 2021, 39(4): 1-8.]

[12] 张义丰, 王又丰, 刘录祥, 等. 河北省阳原县冷凉性气候资源开发与蔬菜产业结构调整[J]. 地理科学进展, 2002, 21(4): 374-382. [Zhang Yifeng, Wang Youfeng, Liu Luxiang, et al. Exploitation of cool-cold weather resource and structure adjustment of vegetable industry of Yangyuan County, Hebei Province[J]. Progress in Geography, 2002, 21(4): 374-382.]

[13] 张毅功, 臧士国, 张爱军, 等. 太行山冷凉区域气候资源的农业利用技术——以河北省顺平县复兴村为例[J]. 山地学报, 2001, 19(3): 270-273. [Zhang Yigong, Zang Shiguo, Zhang Aijun, et al. Application of agricultural climatic resources at cold and cool areas in Mt. Taihang: A case study on Fuxing Village in Shunping County of Hebei Province[J]. Mountain Research, 2001, 19(3): 270-273.]

[14] 颜亮东, 伏洋, 李凤霞, 等. 青海省冷凉气候资源分区及其开发利用[J]. 资源科学, 2006, 30(1): 157-162. [Yan Liangdong, Fu Yang, Li Fengxia, et al. Cold climate regionalization and the development and utilization of climate resources in Qinghai Province[J]. Resources Science, 2006, 30(1): 157-162.]

[15] 龙花楼, 李秀彬. 中国耕地转型与土地整理: 研究进展与框架[J]. 地理科学进展, 2006, 25(5): 67-76. [Long Hualou, Li Xiubin. Cultivated-land transition and land consolidation and reclamation in China: Research progress and frame[J]. Progress in Geography, 2006, 25(5): 67-76.]

[16] 龙花楼, 戈大专, 王介勇. 土地利用转型与乡村转型发展耦合研究进展及展望[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2547-2559. [Long Hualou, Ge Dazhuan, Wang Jieyong. Progress and prospects of the coupling research on land use transitions and rural transformation development[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(12): 2547-2559.]

[17] 李升发, 李秀彬. 中国山区耕地利用边际化表现及其机理[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 803-817. [Li Shengfa, Li Xiubin. Economic characteristics and the mechanism of farmland marginalization in mountainous areas of China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(5): 803-817.]

[18] 臧玉珠, 刘彦随, 杨园园. 山区县域土地利用格局变化及其地形梯度效应——以井冈山市为例[J]. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1391-1404. [Zang Yuzhu, Liu Yansui, Yang Yuanyuan. Land use pattern change and its topographic gradient effect in the mountainous areas: A case study of Jinggangshan City[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(7): 1391-1404.]

[19] 陈志钢, 徐孟. 大食物观引领下低碳减排与粮食安全的协同发展: 现状、挑战与对策[J]. 农业经济问题, 2023, 44(6): 77-85. [Chen Zhigang, Xu Meng. Meeting low-carbon and food security objectives of China agri-food system under the Greater Food approach: Status quo, challenges, and pathways[J]. Issues in Agricultural Economy, 2023, 44(6): 77-85.]

[20] 殷伟, 于会娟, 仇荣山, 等. 陆海统筹视域下的中国食物与营养安全[J]. 资源科学, 2022, 44(4): 674-686. [Yin Wei, Yu Huijuan, Qiu Rongshan, et al. Food and nutrition security in China from the perspective of land-ocean coordination[J]. Resources Science, 2022, 44(4): 674-686.]

[21] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 中共中央国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见[EB/OL]. [2024-01-18]. http://www.gov.cn/zhengce/2023-02/13/content_5741370.htm. [General Office of the Communist Party of China Central Committee, General Office of the State Council. Opinion of the CPC Central Committee and the State Council on promoting rural revitalization in an all-round way in 2023[EB/OL]. [2024-01-18]. http://www.gov.cn/zhengce/2023-02/13/content_5741370.htm.]

[22] 朱晶, 王容博, 徐亮, 等. 大食物观下的农产品贸易与中国粮食安全[J]. 农业经济问题, 2023, 44(5): 36-48. [Zhu Jing, Wang Rongbo, Xu Liang, et al. Agricultural trade and China's food security under the concept of Greater Food approach[J]. Issues in Agricultural Economy, 2023, 44(5): 36-48.]

[23] 唐园结, 邓俐, 李飞, 等. 山重水复终有路[N/OL]. 农民日报, 2020-12-28[2024-1-21]. https://www.moa.gov.cn/xw/qg/202012/

t20201228_6358914. [Tang Yuanjie, Deng Li, Li Fei, et al. There is a way out of the mountain[N/OL]. Farmers Daily, 2020-12-28 [2024-1-21]. https://www.moa.gov.cn/xw/qg/202012/t20201228_6358914.]

[24] 张志良, 徐勤, 杨晓鹏. 甘肃农业生产布局[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1990. [Zhang Zhiliang, Xu Qin, Yang Xiaopeng. Agricultural production layout in Gansu[M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1990.]

[25] 陈明星, 梁龙武, 王振波, 等. 美丽中国与国土空间规划关系的地理学思考[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2467-2481. [Chen Mingxing, Liang Longwu, Wang Zhenbo, et al. Geographical thinking on the relationship between beautiful China and land spatial planning[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(12): 2467-2481.]

[26] 荣丽华, 李伊彤. 国土空间规划背景下畜牧业生产适宜性评价与分区——以锡林郭勒盟镶黄旗为例[J]. 干旱区地理, 2023, 46(7): 1166-1175. [Rong Lihua, Li Yitong. Suitability evaluation and zoning of livestock production under the background of national land space planning: A case of Xianghuang Banner of Xilin Gol League[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(7): 1166-1175.]

[27] 廖柳文, 高晓路, 龙花楼, 等. 基于农户利用效率的平原和山区耕地利用形态比较[J]. 地理学报, 2021, 76(2): 471-486. [Liao Liuwen, Gao Xiaolu, Long Hualou, et al. A comparative study of farmland use morphology in plain and mountainous areas based on farmers' land use efficiency[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(2): 471-486.]

[28] Xiong X, Zhang L, Hao Y, et al. Urban dietary changes and linked carbon footprint in China: A case study of Beijing[J]. Journal of Environmental Management, 2020, 255: 109877, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109877.

[29] 宋乃平, 卞莹莹, 王磊, 等. 农牧交错带农牧复合系统的可持续机制[J]. 生态学报, 2020, 40(21): 7931-7940. [Song Naiping, Bian Yingying, Wang Lei, et al. Sustainable mechanism of agro-pastoral complex system in agro-pastoral ecotone[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(21): 7931-7940.]

[30] 王新友, 王玉娇. 耕地撂荒的文献计量分析: 脉络和展望[J]. 干旱区地理, 2023, 46(5): 804-813. [Wang Xinyou, Wang Yujiao. Bibliometric analysis of cultivated land abandonment: Context and prospect[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(5): 804-813.]

[31] 吴风华. 地理信息系统基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2014. [Wu Fenghua. Geographic information system fundamentals[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2014.]

[32] 樊杰, 周侃, 盛科荣, 等. 中国陆域综合功能区及其划分方案[J]. 中国科学: 地球科学, 2023, 53(2): 236-255. [Fan Jie, Zhou Kan, Sheng Kerong, et al. Territorial function differentiation and its comprehensive regionalization in China[J]. Science China Earth Sciences, 2023, 53(2): 236-255.]

[33] 侯志华, 崔晓琪, 樊晓霞. 流域乡村聚落发展潜能评测及分区振兴路径——以汾河流域为例[J]. 干旱区地理, 2023, 46(4): 649-657. [Hou Zhihua, Cui Xiaoqi, Fan Xiaoxia. Partitioning paths for development potential of rural settlements in watershed: Take Fenhe River Basin as an example[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(5): 649-657.]

[34] 甘肃省农业区划委员会. 甘肃省农业区域综合开发规划[M]. 北京: 改革出版社, 1993. [Agricultural Regionalization Committee of Gansu Province. Comprehensive development plan for agricultural regions of Gansu Province[M]. Beijing: Reform Press, 1993.]

[35] 刘升元, 李新文, 刘风会. 市场经济与甘肃农业发展对策[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1995. [Liu Shengyuan, Li Xinwen, Liu Fenghui. Countermeasures for agricultural development in Gansu Province under market economy[M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1995.]

Identification and development of arable land in cold and cool areas of Gansu Province

HU Shuyun[1,2], LU Yuqi[1,2,3,4]

(1. College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, Jiangsu, China; 2. College of Rural Vitalization, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, Jiangsu, China; 3. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, Jiangsu, China; 4. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, Jiangsu, China)

Abstract: The cold climate of the mountainous areas of northwest China is a vital resource for transforming agriculture and developing a characteristic agricultural economy. In particular, Gansu Province has emerged as an area where the strategic utilization of cold and cool climatic conditions significantly contributes to high-quality advances in agriculture. This study, guided by the holistic "Greater Food" perspective, aims to construct a comprehensive theoretical framework for enhancing the cold and cool-climate agricultural practices in Gansu Province. A robust methodological approach was adopted to identify regions suitable for cold-climate agriculture. This approach integrates eight categories of natural indicators and analyzes their spatial overlap to identify regions in Gansu Province that offer suitable cool climate conditions. For further refining the analysis, *K*-means clustering was applied to classify 169249 fishing nets, each with 1 km precision, to delineate specific agricultural function zones within these cool areas. This meticulous analysis revealed that the cold and cool regions in Gansu Province together cover an area of approximately 1.69×10^5 km^2, which constitutes about 41.97% of the total land area of the province. These regions are distributed across 12 cities (autonomous prefectures), 68 counties (districts), and 1034 townships. The agricultural activities in these areas are predominantly focused on animal husbandry and plantation, with limited forestry practices, highlighting the potential of this region for specialized agricultural development. These cold and cool areas were further categorized into seven types of agricultural development zones: the alpine pastoral area of the Beishan Desert, the dry and cold pastoral area of the Qilian Mountains, the dry and cold pastoral area of the Loess Plateau, the wet and cold pastoral area of the Gannan Plateau, the warm and cold cultivation area of the Hexi Corridor, the warm and cold agricultural and animal husbandry area of the Longzhong Mountain, and the wet and cold agricultural, forestry, and animal husbandry area of the Longnan Mountain. Among these zones, four are primarily dedicated to pastoral activities, one is primarily used for farming, and two support a mix of agricultural and animal husbandry practices. The statistical analysis based on 1 km fishing net units revealed that cool pastoralism dominates 56.22% of the land use, while plantation agriculture and mixed agriculture account for 16.30% and 27.49%, respectively. On an administrative unit scale, the distribution of these agricultural types is more balanced, with each representing around 30% of the townships and districts. In conclusion, the development of cold- and cool-climate agriculture in Gansu Province presents a strategic opportunity to leverage regional comparative advantages. Effective utilization of these areas can enhance agricultural productivity, promote sustainable land use practices, and foster economic growth in the mountainous regions in Gansu Province. This comprehensive zoning analysis provides a foundational framework for policymakers and stakeholders to implement targeted agricultural strategies, maximizing the benefits of cold-climate agriculture and driving the high-quality development of agriculture in the province.

Key words: cold and cool area; cold and cool type agriculture; agricultural type; Greater Food approach; Gansu Province